



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND  
  
DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

(20) **Offenlegungsschrift**  
(10) **DE 100 32 624 A 1**

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 16 C 33/12**  
C 22 C 12/00

- (30) Unionspriorität:  
11-193970 08. 07. 1999 JP
- (71) Anmelder:  
Taiho Kogyo Co., Ltd., Toyota, Aichi, JP; Toyota Jidosha K.K., Toyota, Aichi, JP; Kabushiki Kaisha Toyota Chuo Kenkyusho, Aichi, JP
- (74) Vertreter:  
COHAUSZ & FLORACK, 40472 Düsseldorf

- (72) Erfinder:  
Tomikawa, Takashi, Toyota, Aichi, JP; Michioka, Hirofumi, Toyota, Aichi, JP; Shimura, Yoshio, Aichi, JP; Shimura, Yoshio, Toyota, Aichi, JP; Hotta, Shigeru, Aichi, JP

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

- (54) Gleitlager und sein Herstellungsverfahren
- (55) Ein Gleitlager, welches ein Lagermetall und eine Laufschicht aus Bismut oder Bismut-Legierung mit verbesserter Kompatibilität und Ermüdungsfestigkeit umfaßt, wird vorgesehen. Die Laufschicht ist gekennzeichnet durch die folgende Orientierung. Das unten definierte relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke  $I_{(hk1)}$  der Laufschicht aus Bismut oder Bismutlegierung erfüllt die folgenden Bedingungen (a) und (b):  
 (a) das relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke  $I_{(hk1)}$  von anderen Ebenen als (012) ist 0,2 bis 5 mal so hoch wie das Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke  $I_{(012)}$ , das heißt,  $0,2I_{(012)} \leq I_{(hk1)} \leq 5I_{(012)}$ ;  
 (b) das relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke  $I_{(hk1)}$  von drei oder mehr anderen Ebenen als (012) fällt in einen Bereich, der 0,5 bis 2 mal so hoch ist wie das relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke  $I_{(012)}$ , das heißt,  $0,5I_{(012)} \leq I_{(hk1)} \leq 2I_{(012)}$ .

**DE 100 32 624 A 1**

**DE 100 32 624 A 1**

# DE 100 32 624 A 1

## Beschreibung

### HINTERGRUND DER ERFINDUNG

5

#### 1. Gebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Gleitlager, insbesondere ein Gleitlager, welches umfaßt: eine Lagerlegierungsschicht, welche als Lagermetall bezeichnet wird und aus einer Kupfer/Blci-Legierung oder einer Aluminiumlegierung besteht; und eine Laufschicht, welche aus einer Weichlegierungs-Plattierungsschicht besteht und auf das Lagermetall aufgetragen wird, um diesem Kompatibilität zu verleihen; und eine Ni-Plattierungs-Sperrsicht und dergleichen, welche in manchen Fällen zwischen dem Lagermetall und der Laufschicht ausgebildet ist. Die vorliegende Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Herstellen des Gleitlagers.

#### 2. Beschreibung des Standes der Technik

15

Das oben beschriebene Gleitlager wird in erster Linie für den Zapfenabschnitt einer Kurbelwelle oder das große Ende einer Pleuelstange eines Verbrennungsmotors verwendet. Als Laufschicht werden in erster Linie Bleilegierungen und mitunter Zinnlegierungen verwendet.

Einem der Anmelder der vorliegenden Anmeldung ist es gelungen, die Zusammensetzung der Laufschicht-Bleilegierung gemäß dem Deutschen Patent Nr. 30 00 379 zu verbessern und die Kristallorientierung gemäß der Ungeprüften Japanischen Patentschrift (Kokai) Nr. 8-20893 zu verbessern.

Da Blei ein umweltbelastender Schadstoff ist, ist die Einstellung seiner Verwendung oder die Verringerung der verwendeten Mengen erforderlich. Eine Entwicklung zum Vermeiden der Verwendung von Blei als Laufschicht geht in die Richtung des Bondens eines tribologischen Werkstoffes wie MoS<sub>2</sub> mit Harz, um die Laufschichtfolie zu bilden. Darüber hinaus hat einer der Anmelder der vorliegenden Anmeldung in der Europäischen Patentveröffentlichung Nr. 0795693 A2 eine Cu-Ag-Legierung vorgeschlagen, welche eventuell keine Laufschicht erfordert.

Übrigens ist Bismut wie Blei ein Metall mit einem niedrigen Schmelzpunkt. Bismut ist härter und spröder als Blei. Im Detail ist die Härte Hv<sub>0,2</sub> von Blei 5, während die Härte Hv<sub>0,2</sub> von Bismut 10 ist. Elektroplattieren, welches häufig zum Herstellen einer Laufschicht verwendet wird, härtet die entstehende Schicht infolge der Absorption von Wasserstoff. Das heißt, die Härte Hv<sub>0,2</sub> von elektroplattierteem Blei beträgt 10, während die Härte Hv<sub>0,2</sub> von herkömmlich elektroplattiertem Bismut ungefähr 20 beträgt. Eine derartige Eigenschaft von Bismut ist nicht geeignet, um Ermüdungsfestigkeit und Kompatibilität des Gleitmaterials zu erreichen. Demzufolge wurde Bismut nicht als Gleitmaterial verwendet.

Mittlerweile wird der niedrige Schmelzpunkt von Bismut in der Lötlegierung auf Bismutbasis oder dem Formkern auf Bismutbasis genutzt. Bismut wird auch als Halbleiterwerkstoff, elektronischer Werkstoff, optische Speichermedien (siehe beispielsweise Ungeprüfte Japanische Patentschrift Nr. 4-51742) und Magnetwerkstoff (Mn-Bi-Magnet) verwendet. Dieses Speichermedium wird durch Zerstäuben hergestellt.

Die gegenständlichen Erfinder haben ausführliche Forschungsarbeiten hinsichtlich des Ersetzens von Blei durch Bismut betrieben, in dem Bestreben, die verglichen mit Blei bessere Korrosionsbeständigkeit von Bismut in saurer Lösung zu nutzen und die Toxizität von Blei zu vermeiden.

40

### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Bismutwerkstoff zu entdecken, welcher die Ermüdungsfestigkeit und Kompatibilität, die für eine Laufschicht erforderlich sind, aufweist, und ein verbessertes Gleitlager vorzusehen.

Es ist ebenfalls eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen eines Gleitlagers vorzusehen, welches eine Laufschicht aus Bismut oder Bismutlegierung umfaßt, deren Kristalle derart orientiert sind, daß Ermüdungsfestigkeit und Kompatibilität verglichen mit den im wesentlichen zufallsorientierten Bismutkristallen oder im wesentlichen oder zur Gänze einkristalligen Bismutkristallen erheblich verbessert sind.

Die vorliegende Erfindung umfaßt eine Entdeckung, daß Härte und Sprödigkeit von Bismut durch Steuern der Orientierung von Bismutkristallen bis auf ein derartiges Maß verbessert werden können, so daß diese kein ernsthaftes Problem darstellen.

Das von der vorliegenden Erfindung vorgeschlagene Gleitlager umfaßt ein Lagermetall und eine aus Bismut oder Bismutlegierung gebildete Laufschicht, welche auf dem Lagermetall mit oder ohne dazwischenliegender Sperrsicht ausgebildet ist, dadurch gekennzeichnet, daß das unten definierte relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke I<sub>{hkl}</sub> die folgenden Bedingungen (a) und (b) erfüllt:

(a) Das relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke I<sub>{hkl}</sub> von anderen Ebenen als {012} ist 0,2 bis 5 Mal so hoch wie das Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke I<sub>{012}</sub>, das heißt, 0,2I<sub>{012}</sub> ≤ I<sub>{hkl}</sub> ≤ 5I<sub>{012}</sub>;

(b) Das relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke I<sub>{hkl}</sub> von drei oder mehr anderen Ebenen als {012}

fällt in einen Bereich, der 0,5 bis 2 Mal so hoch ist wie das relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke I<sub>{012}</sub>, das heißt, 0,5I<sub>{012}</sub> ≤ I<sub>{hkl}</sub> ≤ 2I<sub>{012}</sub>.

Die Definition des relativen Verhältnisses der Röntgenstrahlbeugungsstärke I<sub>{hkl}</sub> lautet wie folgt: Die {hkl}-Ebenen von Bismutkristallen von Standardpulverproben, welche eine Zufallsorientierung aufweisen, zeigen die Röntgenstrahlbeugungsstärke R<sub>p</sub> (hkl) an; die {hkl}-Ebenen von Bismutkristallen der Laufschicht aus Bismut oder Bismutlegierung zeigen die Röntgenstrahlbeugungsstärke R<sub>OL</sub> (hkl) an; das Verhältnis beider Stärken wird durch K(hkl) = R<sub>OL</sub>(hkl)/R<sub>p</sub>(hkl) ausgedrückt; das Verhältnis K(012), das heißt K(hkl) der {012}-Ebene und K(hkl) der Röntgenstrahlbeugungsstärke an der {hkl}-Ebene, werden in das Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke I<sub>{hkl}</sub> = K(hkl)/K(012) umgerechnet.

# DE 100 32 624 A 1

net.

Das Verfahren zum Herstellen eines Gleitlagers gemäß der vorliegenden Erfindung umfaßt die Schritte des:  
Anfertigen eines Trägermetalls in Form eines Streifens;  
Anfertigen eines Lagermetalls in Form eines Streifens, bestehend aus einem Werkstoff, welcher aus der Gruppe, umfassend eine Aluminiumlagerlegierung und eine Kupferlagerlegierung, ausgewählt wird;  
Bringen des Lagermetalls in Kontakt mit einer elektrolytischen Lösung, welche Methansulfonsäure und Bismutmethansulfonat enthält; und  
kathodisches Auftragen von Bismut auf dem Lagermetall.

Eine andere elektrolytische Lösung kann Schwefelsäure und Bismutsulfat enthalten.

In einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die Verwendung von Bismut oder Bismutlegierung, welche die oben genannten Bedingungen (a) und (b) erfüllen, für eine Laufschicht eines Gleitlagers vorgesehen. 10

## BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

Die vorliegende Erfindung wird in der Folge ausführlich beschrieben. Bismut ist ein rhomboedrischer Kristall, der einem hexagonalen Kristall gleichwertig ist. Im allgemeinen wird der Millersche Index des hexagonalen Kristalls durch vier Parameter ( $h$ ,  $k$ ,  $l$ ,  $i$ ) zum Ausdruck gebracht. Hier zeigen  $h$ ,  $k$  bzw.  $i$  die  $a_{1,2,3}$ -Achsen an. Das Zeichen " $i$ " bezeichnet den Index der  $c$ -Achse. Da im Bi-Kristall die Beziehung  $h + k = -i$  feststeht, wird der Parameter  $i$  weggelassen, und die drei Parameter ( $h$   $k$   $l$ ) werden verwendet, um die Gitterebenen eines Bismutkristalls zu definieren. 15

Die Schicht aus Bi oder Bi-Legierung wird, abgesehen von der Beschreibung ihrer Zusammensetzung, allgemein als "Bi-Schicht" bezeichnet. Die Bi-Schicht weist eine Zwischenorientierung zwischen der völlig zufälligen, wie jener des feinen Pulvers, und einer bestimmten Orientierung, wie jener des Einzelkristalls, auf. 20

Die Orientierung wird folgendermaßen beurteilt.

Zunächst werden die Bi-Kristalle, welche eine völlig zufällige Orientierung aufweisen, wie etwa das Pulver, Röntgenstrahlbeugung unterzogen. Die sich ergebende Beugungsstärke der jeweiligen Ebenen ist  $R_p(hkl)$ . Ebenso werden die Bi-Kristalle einer Laufschicht der Röntgenstrahlbeugung unterzogen. Die sich ergebende Beugungsstärke der jeweiligen Ebenen ist  $R_{o,L}(hkl)$ . Daraufhin wird deren Verhältnis  $K(hkl) = R_{o,L}(hkl)/R_p(hkl)$  berechnet. Im Fall von  $K(hkl) > 1$  ergibt sich, daß die Bi-Kristalle einer Laufschicht in  $(hkl)$  orientiert sind. 25

Es ist zu beachten, daß es zwei  $K(hkl)$  der Bi-Kristalle gibt, d. h.  $K(hkl)$  von  $\{012\}$  und  $K(hkl)$  der anderen Ebenen als  $\{012\}$ . Ihre relative Größe wird als Verhältnis  $I_{(hkl)} = K(hkl)/K(\{012\})$  berechnet. Wenn  $I_{(hkl)} = 0$ , so ergibt sich, daß ein  $\{012\}$ -Einzelkristall gebildet wird. Wenn andererseits  $I_{(hkl)} > 1$ , so ergibt sich, daß die  $(hkl)$ -Kristalle stark orientiert sind. Wenn  $K(\{012\}) = 1$  und  $K(hkl) = 1$ , so sind die Bi-Kristalle zufällig oder zur Gänze nicht orientiert. Diesfalls beträgt  $I_{(hkl)}$  für jede  $(hkl)$ -Ebene 1. Im Gegensatz dazu sind, selbst wenn  $I_{(hkl)}$  für mehrere  $(hkl)$ -Ebenen 1 beträgt, jedoch mehrere andere Ebenen eine  $I_{(hkl)}$  aufweisen, die ungleich 1 ist, die Kristalle nicht zur Gänze zufallsorientiert, sondern in einer bestimmten Orientierung ausgerichtet. Weder der  $\{012\}$ -Einzelkristall, welcher  $I_{(hkl)} = 0$  aufweist, noch die völlig zufällig orientierten Kristalle, welche eine  $I_{(hkl)} = 1$  aufweisen, zeigen als Laufschicht verbesserte Eigenschaften. Diese Kristalle sowie die im wesentlichen einkristallinen und die im wesentlichen zufallsorientierten Kristalle sind daher von der vorliegenden Erfindung ausgeschlossen. Die starke Orientierung gemäß einer bestimmten Kristallebene ist ebenfalls ausgeschlossen, wie in der Folge erläutert wird. 30

Bei den Bedingungen (a) und (b) unter Zuhilfenahme von  $I_{(hkl)}$ , werden  $I_{(hkl)}$  und  $K_{\{012\}}$  miteinander verglichen. Wenn im Gegensatz dazu beispielsweise eine Bedingung aufgestellt wird, derart, daß  $K(hkl) \geq n$  ist, das heißt, daß die Orientierung nur durch  $K(hkl)$  beurteilt wird, dann wird es schwierig, den Grad der Orientierung der nicht- $\{012\}$ -Ebenen relativ zu den  $\{012\}$ -Ebenen zu regeln und somit die tribologischen Eigenschaften zu regeln. Die Bedingung (a), das heißt  $0,2I_{\{012\}} \leq I_{(hkl)} \leq 5I_{\{012\}}$ , umfaßt ein Konzept, daß die  $\{012\}$ -Ebenen als Norm verwendet werden und der relative Orientierungsgrad innerhalb eines bestimmten Bereichs geregelt wird. Andererseits sind, wenn  $I_{(hkl)} > 5I_{\{012\}}$ , die nicht- $\{012\}$ -Ebenen so stark orientiert, daß die Laufschichteigenschaften nicht verbessert sind. Wenn  $I_{(hkl)} < 0,2I_{\{012\}}$ , ist die Orientierung von  $\{012\}$ -Ebenen so stark, daß die Laufschichteigenschaften ebenfalls nicht verbessert sind. Vorzugsweise ist  $0,5I_{\{012\}} \leq I_{(hkl)} \leq 2I_{\{012\}}$ . 35

Zusätzlich zu Bedingung (a) wird Bedingung (b) aufgestellt, daß heißt, daß drei oder mehr Ebenen eine bevorzugte Orientierung aufweisen, die nicht kleiner als 0,5 Mal und nicht mehr als das Doppelte von  $I_{\{012\}}$  beträgt. Drei oder mehr Ebenen ausgenommen  $\{012\}$ , können bevorzugt orientiert sein, vorausgesetzt, daß der Grad ihrer Orientierung auf innerhalb eines nicht übermäßigen Bereichs beschränkt ist, wie in Bedingung (b) vorgegeben wird. Die Bedingungen (a) und (b) sind demnach das Kriterium, welches die Sprödigkeit oder Verformbarkeit von Bismut bestimmt. 40

Es ist möglich, die Sprödigkeit und Härte der Bi-Kristallschicht durch Regeln der Beugungsstärke der drei Ebenen, d. h. der  $\{104\}$ -, der  $\{110\}$ - und der  $\{202\}$ -Ebene, der Bi-Kristallschicht beinahe vollständig zu regeln. Auch durch Einstellen der Elektroplattierbedingungen kann diese Beugungsstärke geregelt werden. Hier können zusätzlich zur  $\{012\}$ -Ebene, da die  $\{104\}$ -, die  $\{110\}$ - und die  $\{202\}$ -Ebene eine größere Röntgenbeugungsstärke als die anderen Ebenen aufweisen, die oben genannten Bedingungen (a) und (b) durch Einstellen der Beugungsstärke dieser drei Ebenen und somit von  $I_{(hkl)}$  von  $\{104\}$ ,  $\{110\}$  und  $\{202\}$  erfüllt werden. Die gewünschten Eigenschaften können in nahezu allen Fällen erreicht werden, indem die Röntgenbeugungsstärke den oben genannten drei Ebenen kontrolliert wird. Die gewünschten Eigenschaften können mit größerer Gewißheit erreicht werden, wenn auch  $\{015\}$ ,  $\{113\}$ ,  $\{116\}$ ,  $\{107\}$ ,  $\{122\}$ ,  $\{214\}$  und  $\{300\}$  die oben genannten Beziehungen (a) und (b) erfüllen. 45

Die Kristallkörper einer Bi-Plattierung sind vorzugsweise 10 µm groß oder kleiner, insbesondere 5 µm oder kleiner. Wenn die Korngröße 10 µm übersteigt, wird die Ermüdungsfestigkeit ernsthaft beeinträchtigt, bis auf ein niedrigeres Niveau als jenes, welches für eine Laufschicht erforderlich ist. Die Laufschicht ist vorzugsweise 2 bis 20 µm dick, insbesondere 5 bis 12 µm. 50

Bei der vorliegenden Erfindung kann die Laufschicht aus einer Bi-Legierung bestehen, bei der 5 Gew.-% oder weniger aus der Gesamtmenge aus Sn, In, Sb und dergleichen bestehen kann. Diese Elemente sind als Zusatzelemente einer Pb-

# DE 100 32 624 A 1

Laufschicht bekannt. Diese Elemente tragen zu einer Verstärkung der Kompatibilität und der Ermüdungsfestigkeit in der auf Bi basierenden Legierung bei. Wenn allerdings die Menge dieser Elemente 5 Gew.-% übersteigt, wird der Schmelzpunkt der Laufschicht soweit gesenkt, daß er die Eigenschaften der Laufschicht beeinträchtigt.

Die auf Cu oder Al basierenden Gleitlagerlegierungen und die Ni-Sperrsicht sind an sich bekannt. Bei der vorliegenden Erfindung können breitgefächerte Variationen derartiger Legierungen und der Ni-Sperrsicht verwendet werden, und die Erfindung wird durch derartige Legierungen und die Ni-Sperrsicht überhaupt nicht eingeschränkt.

Beim Verfahren zum Herstellen des Gleitlagers gemäß der vorliegenden Erfindung sind die Schritte des Druckbondens der Trägerschicht mit dem Lagermetall bekannt. Das erfundungsgemäße Verfahren ist durch ein Elektroplattierverfahren gekennzeichnet, welches zur oben beschriebenen Orientierung der Kristallkörper führt.

Vorzugsweise werden die folgenden Elektroplattierbäder verwendet, um die oben beschriebene Orientierung zu regeln.

## (1) Methansulfonsäurebad A

Zusammensetzung des Bades: 50 bis 250 ml/l  
Methansulfonsäure und 50 bis 250 ml/l  
Bismutmethansulfonat und 0,5 bis 50 g/l β-Naphthol  
Badtemperatur: 25°C  
Stromdichte: 0,5–5,0 A/dm<sup>2</sup>

## (2) Methansulfonsäurebad B

Zusammensetzung des Bades: 50 bis 200 ml/l  
Methansulfonsäure und 50 bis 250 ml/l  
Bismutmethansulfonat und 0,5 bis 50 g/l Polyoxyethylen-Nonylphenylether  
Badtemperatur: 25°C  
Stromdichte: 0,5–5,0 A/dm<sup>2</sup>

## (3) Schwefelsäurebad

Zusammensetzung des Bades: 50 bis 120 ml/l Schwefelsäure und 5 bis 30 g/l Bismutnitrat und 0,5 bis 50 g/l Polyoxyethylen-Nonylphenylether  
Badtemperatur: 25°C  
Stromdichte: 0,5–5,0 A/dm<sup>2</sup>

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

- Fig. 1 ist eine schematische Ansicht eines hin- und hergehenden Prüfgeräts für dynamische Last.  
Fig. 2 ist ein Schaubild, welches ein Prüfmuster des hin- und hergehenden Prüfgeräts für dynamische Last darstellt.  
Fig. 3 ist ein Foto, welches die Oberflächenplattierungsstruktur von Beispiel 1 zeigt.  
Fig. 4 ist das Röntgenbeugungsdiagramm der in Beispiel 1 gebildeten Plattierungsschicht.  
Fig. 5 ist ein Foto, welches die Oberflächenplattierungsstruktur von Vergleichsbeispiel 4 zeigt.  
Fig. 6 ist das Röntgenbeugungsdiagramm der in Vergleichsbeispiel 4 gebildeten Plattierungsschicht.  
Fig. 7 ist ein Foto, welches die Oberflächenplattierungsstruktur von Vergleichsbeispiel 6 zeigt.  
Fig. 8 ist ein Schaubild, welches den Quotienten der vorkommenden Ermüdung bei den Beispielen und den Vergleichsbeispielen darstellt.

## BEISPIELE

Die vorliegende Erfindung wird in der Folge durch Bezugnahme auf die Beispiele und die Vergleichsbeispiele beschrieben.

Die Gleitlager, welche in den folgenden Beispielen und Vergleichsbeispielen hergestellt wurden, wiesen die folgende Struktur auf:

Trägermetall: Stahlblech (SPCC, Dicke: 1 mm)

Gleitlagerlegierung: Cu-Sn-Ag-Legierung (Europäische Patentschrift 0795693 A1)

Ni-Sperrsicht: nicht verwendet

Laufschicht: 6 µm dickes, reines Bi

Die Prüfbedingungen waren wie folgt:

Prüfgerät: hin- und hergehendes Prüfgerät für dynamische Belastung (vgl. Fig. 1)

Gleitgeschwindigkeit: 6,6 m/Sekunde (3000 U/min. vgl. Fig. 2)

spezifische Lagerbelastung: Schrittweise Lastzunahme (vgl. Fig. 2)

Lagerabmessungen: 42 mm Durchmesser und 17 mm Breite

Material der Welle: S55C (gehärtet)

Art des Schmieröls: 7,5 W-30 SE

Temperatur des zugeführten Öls: 120°C

Prüfzeitraum: 25 h

Bezugnehmend auf Fig. 1 wird dort ein hin- und hergehendes Prüfgerät für dynamische Belastung dargestellt. Die Bezugszahlen benennen die folgenden Teile: 1 – geprüftes Lager; 2 – Haltelager einer Welle; 3 – Pleuelstange; 4 – Welle,

# DE 100 32 624 A 1

d. h. die Gegenwelle; und 4a – Ölzuführöffnung. Das angebrachte Lager 1 befindet sich in lokalem Kontakt mit der Welle 5. Diese Prüfung führt zu derartigen Ergebnissen, daß: wenn die ursprüngliche Kompatibilität der Laufschicht schlecht ist, es zu Ermüdung kommt; und daß, selbst wenn die ursprüngliche Kompatibilität der Laufschicht gut ist, es leicht zu einem Festfressen kommt, wenn die Materialeigenschaften der Laufschicht schlecht sind.

Die Bi-Plattierschicht der Beispiele 1 bis 3 und der Vergleichsbeispiele 4 bis 6 sowie das Bi-Pulver wurden der Röntgenbeugung (Cu-K $\alpha$ -Strahl) unterzogen. Die resultierende  $I_{[hkl]}$  wird in Tabelle 1 angeführt. Die in Tabelle 1 angeführte Beugungsstärke von (024) ist jene, welche in bezug auf (012) relativ ist. Da (024) und (012) kristallografisch gleichwertig sind, sollte  $I_{[024]}$  gleich  $I_{[012]}$  sein. Da allerdings die Beugungsstärke des höheren Millerschen Index infolge des Einflusses der Penetrationsstiefe von Röntgenstrahlen und dergleichen niedriger zu sein pflegt,  $I_{[024]} \leq I_{[012]}$ . Diese Tatsachen sollten beim Evaluieren der Ergebnisse aus Tabelle 1 in Betracht gezogen werden. Die folgenden Auswertungen können durchgeführt werden:

- (i) Weder die Beispiele noch die Vergleichsbeispiele sind gänzlich zufallsorientiert oder einkristallig.
- (ii) Bei Vergleichsbeispiel 5 ist die (104)-Ebene stark orientiert, was  $I_{[104]} = 5,22$  ergibt. Eine derart starke Orientierung wird bei Beispiel 1 bis 3 nicht beobachtet.
- (iii) Bei Vergleichsbeispiel 4 sind, da  $I_{[104]}, I_{[113]}, I_{[202]}, I_{[116]}, I_{[122]}$  und  $I_{[214]}$  extrem klein sind, die (012)-Ebenen relativ stark orientiert. Bei Vergleichsbeispiel 5 sind  $I_{[104]}$  und  $I_{[300]}$  über 5, das heißt, mehr als das Fünffache von  $I_{[012]}$ . Die Beugungsstärke der anderen Ebenen ist niedrig. Die Plattierungsschicht aus Vergleichsbeispiel 5 ist daher in den beiden bevorzugten Orientierungen, {104} und {300}, ausgerichtet.
- (iv) Die Beispiele 1 bis 3 erfüllen die oben genannten Bedingungen (a) und (b). Das heißt, daß, da keine überaus starke Ausrichtung in den bestimmten Orientierungen vorliegt, die Bedingung (a) erfüllt wird. Die unter Bedingung (b) vorgegebene Anzahl an bevorzugt orientierten Ebenen beträgt drei oder mehr und ist somit geeignet. Die bevorzugte Orientierung ist daher nicht auf einige wenige bestimmte Ebenen beschränkt. Übrigens ist die Stärke der (012)-Ebene unter den (012)-Ebenen auf Eins gesetzt. Auch wenn die Stärke der gleichwertigen (024)-Ebene auf Eins gesetzt ist und als Berechnungsgrundlage verwendet wird, erhält man dieselben Ergebnisse.

Die Plattierungsoberflächenstruktur aus Beispiel 1 wird in Fig. 3 dargestellt. Das Röntgenstrahlbeugungsdiagramm von Beispiel 1 wird in Fig. 4 dargestellt. Dieses wird danach unter Verwendung der Pulverstärke als Kriterium konvertiert. Die Plattierungsoberflächenstruktur von Vergleichsbeispiel 4 wird in Fig. 5 dargestellt. Das Röntgenstrahlbeugungsdiagramm von Vergleichsbeispiel 4 wird in Fig. 6 dargestellt. Dieses wird daraufhin unter Verwendung der Pulverstärke als Kriterium konvertiert. Die Plattierungsoberflächenstruktur von Vergleichsbeispiel 6 wird in Fig. 7 dargestellt. Der Durchmesser von Kristallen der Plattierschicht beträgt 2,8  $\mu\text{m}$  in Beispiel 1, 5,8  $\mu\text{m}$  in Vergleichsbeispiel 4 und 10,6  $\mu\text{m}$  in Vergleichsbeispiel 6.

Die Ergebnisse der Prüfung werden in Tabelle 1 und Fig. 8 dargestellt. Die Daten "Vergleichsbeispiel, Pb-Sn-In-Lauffschicht", welche in Fig. 8 dargestellt werden, entsprechen der herkömmlichen Laufschicht auf Pb-Basis, welche 10% Sn und 10% In enthält. Diese Daten würden ein Kriterium für den Vergleich der Ermüdungshäufigkeit darstellen. Aus Fig. 9 ist zu ersehen, daß die Ermüdungs- und Festfreßbeständigkeit der erfundungsgemäßen Beispiele 1 bis 3 jener der Vergleichsbeispiele 4 bis 6 überlegen und jener der herkömmlichen Laufschicht auf Pb-Basis ebenbürtig ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Tabelle 1

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55  
60  
65

Orientierungsindex Millerscher Ebenen											Kristall-körner µm	aufretende Ermüdung %	Festfressen Oberflächen- druck MPa	
	012	104	110	0,15	113	202	024	107	116	122	214	300		
Beispiel	1	1,00	0,42	0,84	0,71	0,57	0,65	0,83	0,33	0,45	0,56	0,23	0,67	2,8
	2	1,00	0,75	1,25	2,05	0,63	1,01	0,86	1,34	0,82	0,42	0,54	0,48	9,8
Ver-gleichs-beispiel	3	1,00	0,82	2,25	4,64	0,54	0,90	0,92	1,01	0,78	0,21	0,64	0,33	4,7
	1	1,00	0,10	0,22	0,45	0,15	0,11	0,97	0,83	0,07	0,07	0,15	0,64	5,8
	2	1,00	5,22	0,59	2,18	0,21	0,15	1,01	1,06	0,23	0,12	0,64	9,74	2,7
	3	1,00	0,22	0,28	0,33	0,36	0,33	0,86	0,67	0,23	0,29	0,41	0,23	10,6

Wie oben beschrieben wurde, könnte die herkömmliche Laufschicht auf Pb-Basis durch die erfindungsgemäße Laufschicht auf Bi-Basis ersetzt werden.

# DE 100 32 624 A 1

## Patentansprüche

1. Gleitlager, welches ein Lagermetall und eine auf dem Lagermetall ausgebildete Laufschicht aus Bismut oder Bismut-Legierung umfaßt, wobei das unten definierte relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke  $I_{[hkl]}$  der Laufschicht aus Bismut oder Bismutlegierung die folgenden Bedingungen (a) und (b) erfüllt:

- (a) das relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke  $I_{[hkl]}$  von anderen Ebenen als {012} ist 0,2 bis 5 Mal so hoch wie das Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke  $I_{[012]}$ , das heißt,  $0,2I_{[012]} \leq I_{[hkl]} \leq 5I_{[012]}$ ;  
(b) das relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke  $I_{[hkl]}$  von drei oder mehr anderen Ebenen als {012} fällt in einen Bereich, der 0,5 bis 2 Mal so hoch ist wie das relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke  $I_{[012]}$ , das heißt,  $0,5I_{[012]} \leq I_{[hkl]} \leq 2I_{[012]}$ ,

wobei die {hkl}-Ebenen von Bismutkristallen von Standardpulverproben, welche Zufallsorientierung aufweisen, die Röntgenstrahlbeugungsstärke  $R_p(hkl)$  anzeigen; die {hkl}-Ebenen von Bismutkristallen der Laufschicht aus Bismut oder Bismutlegierung die Röntgenstrahlbeugungsstärke  $R_{OL}(hkl)$  anzeigen; das Verhältnis der beiden Stärken durch  $K(hkl) = R_{OL}(hkl)/R_p(hkl)$  ausgedrückt wird; das Verhältnis von  $K(012)$  und  $K(hkl)$  durch  $I_{[hkl]} = K(hkl)/K(012)$  ausgedrückt wird.

2. Gleitlager nach Anspruch 1, des weiteren umfassend eine Sperrsicht, welche zwischen dem Lagermetall und der Laufschicht aus Bismut oder Bismutlegierung ausgebildet ist.

3. Gleitlager nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Ebenen, bei denen es sich nicht um {012} handelt, {104}, {110} und {202} sind.

4. Gleitlager nach Anspruch 3, wobei die Ebenen, bei denen es sich nicht um {012} handelt, zusätzlich {015}, {113}, {116}, {107}, {122}, {214} und {300} umfassen.

5. Gleitlager nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Laufschicht aus Bismut oder Bismutlegierung eine elektroplattierte Schicht ist.

6. Gleitlager nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Laufschicht von 2 bis 20 µm dick ist.

7. Verfahren zum Herstellen eines Gleitlagers, umfassend die folgenden Schritte:

Anfertigen eines Trägermetalls in Form eines Streifens;

Anfertigen eines Lagermetalls in Form eines Streifens, bestehend aus einem Werkstoff, welcher aus der Gruppe, umfassend eine Aluminiumlagerlegierung und eine Kupferlagerlegierung, ausgewählt wird;

Bringen des Lagermetalls in Kontakt mit einer elektrolytischen Lösung, welche Methansulfonsäure und Bismutmethansulfonat enthält; und

kathodisches Auftragen von Bismut auf dem Lagermetall.

8. Verfahren zum Herstellen eines Gleitlagers, umfassend die folgenden Schritte:

Anfertigen eines Trägermetalls in Form eines Streifens;

Anfertigen eines Lagermetalls in Form eines Streifens, bestehend aus einem Werkstoff, welcher aus der Gruppe, umfassend eine Aluminiumlagerlegierung und eine Kupferlagerlegierung, ausgewählt wird;

Bringen des Lagermetalls in Kontakt mit einer elektrolytischen Lösung, welche Methansulfonat und Bismutmethansulfonat enthält; und

kathodisches Auftragen von Bismut auf dem Lagermetall.

9. Verwendung von Bismut oder einer Bismutlegierung für die Laufschicht, welche auf dem Lagermetall eines Gleitlagers ausgebildet ist, welches in einem Verbrennungsmotor verwendet wird, wobei das unten definierte relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke  $I_{[hkl]}$  der Laufschicht aus Bismut oder Bismutlegierung die folgenden Bedingungen (a) und (b) erfüllt:

- (a) das relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke  $I_{[hkl]}$  von anderen Ebenen als {012} ist 0,2 bis 5 Mal so hoch wie das Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke  $I_{[012]}$ , das heißt,  $0,2I_{[012]} \leq I_{[hkl]} \leq 5I_{[012]}$ ;  
(b) das relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke  $I_{[hkl]}$  von drei oder mehr anderen Ebenen als {012} fällt in einen Bereich, der 0,5 bis 2 Mal so hoch ist wie das relative Verhältnis der Röntgenstrahlbeugungsstärke  $I_{[012]}$ , das heißt,  $0,5I_{[012]} \leq I_{[hkl]} \leq 2I_{[012]}$ ,

wobei die {hkl}-Ebenen von Bismutkristallen aus Standardpulverproben, welche Zufallsorientierung aufweisen, die Röntgenstrahlbeugungsstärke  $R_p(hkl)$  anzeigen; die {hkl}-Ebenen von Bismutkristallen der Laufschicht aus Bismut oder Bismutlegierung die Röntgenstrahlbeugungsstärke  $R_{OL}(hkl)$  anzeigen; das Verhältnis der beiden Stärken durch  $K(hkl) = R_{OL}(hkl)/R_p(hkl)$  ausgedrückt wird; das Verhältnis von  $K(012)$  und  $K(hkl)$  durch  $I_{[hkl]} = K(hkl)/K(012)$  ausgedrückt wird.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

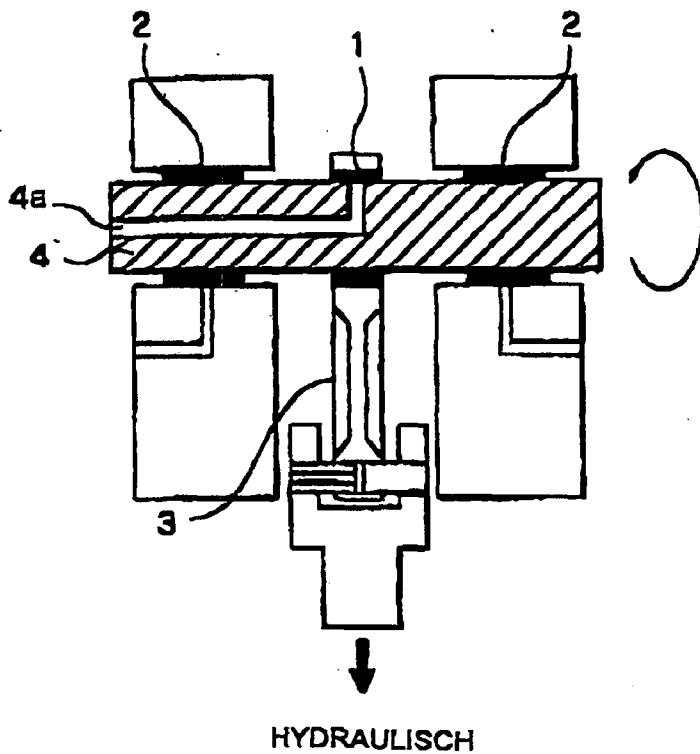
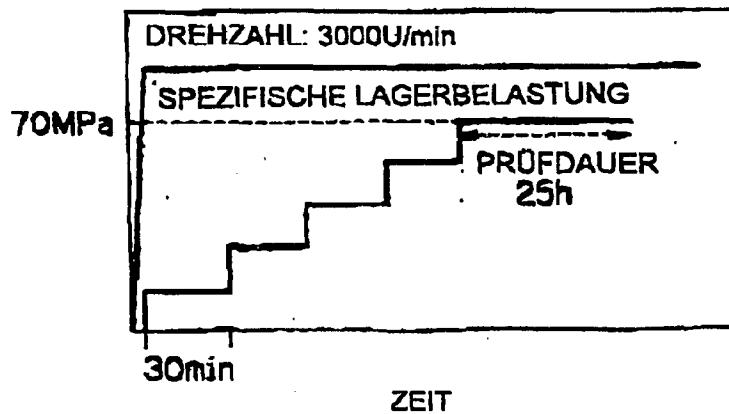
45

50

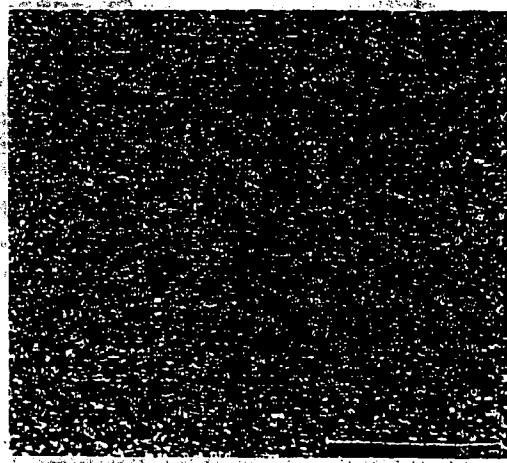
55

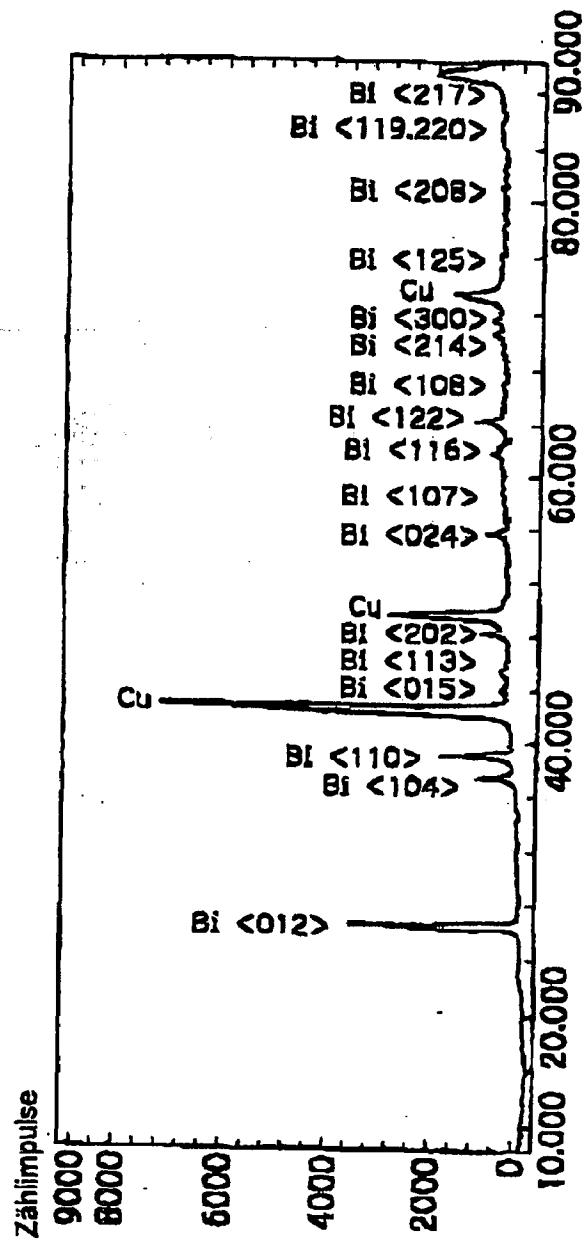
60

65

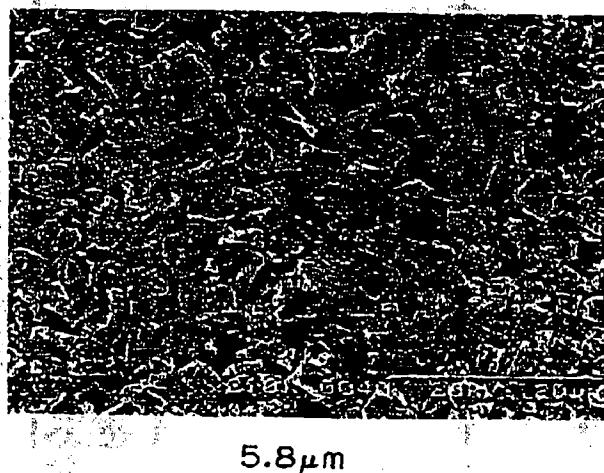
*Fig. 1**Fig. 2*

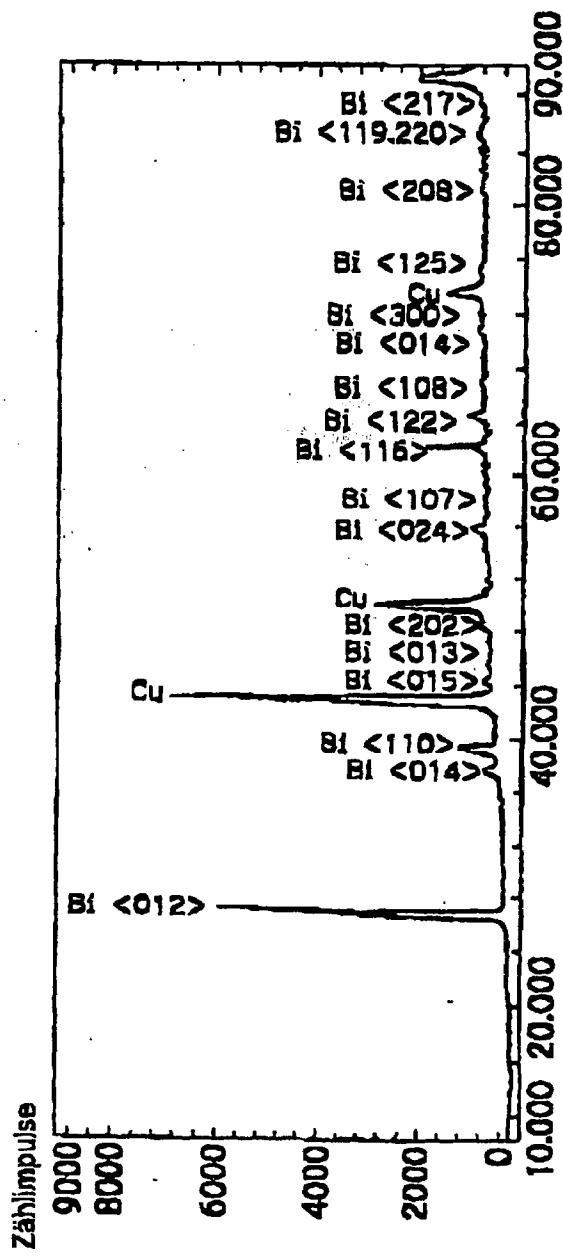
*Fig. 3*



*Fig. 4*

*Fig. 5*



*Fig. 6*

*Fig. 7*



10.6  $\mu\text{m}$

*Fig. 8*